



Actes des journées coton du Cirad-ca

Montpellier, du 20 au 24 juillet 1998

**Programme Coton
Cirad-ca
Juillet 1998**



TECHNOLOGIES DE FILATURES ET STRUCTURE DES FILES DE FIBRES

SINOIMERI Artan, RENNER Marc, DREAN Jean-Yves
Ecole Nationale Supérieure des Industries Textiles de Mulhouse,
11, rue A. Werner, 68093 Mulhouse Cedex

Introduction

Le processus de la filature se fonde sur un écoulement des fibres textiles sous l'action conjuguée des étirages, des cisaillement et de la torsion : c'est donc un processus rhéologique. Les premiers confèrent à la masse fibreuse un affinement progressif, les seconds provoquent des frottements entre les fibres, tandis que la dernière permet d'assurer une cohésion suffisante pour le maintien du fil formé dans des conditions satisfaisantes de solidité mécanique qu'exige tout "textile linéaire".

La structure du fils ainsi que ses propriétés sont intimement liées au processus de transformation du flux fibreux en fil. On distingue, en général, deux classes de technologies, la première appelée "conventionnelle" à anneaux-curseurs, et la deuxième, appelée "non conventionnelle" regroupant les autres procédés de transformation.

Malgré les différences entre ces deux classes, la préparation de la matière première au filage (figure 1) se réalise selon le même principe. Les flocons de fibres, après être "piqués" des balles, ouverts, nettoyés et dépoussiérés sont envoyés, le plus souvent par voie pneumatique, à l'entrée de la cardé dont le but est d'individualiser les fibres, de réaliser un ultime nettoyage (dans les procédés de filature open end - à fibres libérées-, il existe une dernière possibilité de nettoyage au niveau du briseur) et de présenter la matière en sortie en forme de ruban. On parle aussi d'une certaine orientation des fibres, mais pas de parallélisation car les extrémités des fibres dans le ruban forment des crochets plus ou moins importants. Ces crochets sont déployés lors des passages successifs des rubans au bancs d'étirage. Outre l'ouverture des crochets, le banc d'étirage a deux fonctions très importantes : améliorer la régularité du rubans par compensation statistique (assemblage -communément appelé doublage- de plusieurs rubans, au minimum 8 par passage) et réaliser d'éventuelles mélanges de rubans de fibres de natures différentes (exemple : PET/Coton 67/33 en 6 et 3 rubans). Évidemment, le doublage est associé à l'étirage pour affiner la matière et avoir à la sortie du banc à broche un ruban de même ordre de grandeur qu'à l'entrée (entre 2,5 et 7 ktex).

Dans tous les procédés non conventionnels ainsi que certaines améliorations du continu à filer (anneaux-curseurs) les rubans sont transformés directement en fil. Pour le continu à filer classique, par contre, un passage au banc à broche est indispensable afin d'affiner davantage le ruban en mèche (de l'ordre de 1 ktex) et de lui donner une légère torsion pour améliorer la cohésion.

Procédés de filature

Le premier brevet de continu à filer a été déposé en 1829 par Addison et Stewens aux Etats Unis (figure 2). La mèche est affinée par un passage au travers des couples de cylindres de

vitesses circonférencielles progressives dont le ratio $V_{\text{délivraison}}/V_{\text{entrée}}$ donne le taux d'affinage ou étirage. Dès que le flux fibreux dépasse la ligne de pincage du dernier couple de cylindres du train d'étirage, il est soumis à un moment de torsion qui est fourni par la broche en rotation. Le fil passe ensuite dans le guide fil G, dans l'espace entre le curseur et l'anneau, et se bobine autour du ceps en spirales. Le ceps tourne à la vitesse de la broche n_B [tr/min] obligeant ainsi le curseur, par l'intermédiaire du fil, de le suivre à un léger retard. Le segment du fil qui se trouve entre le guide fil et le curseur, sous l'effet de la rotation crée un ballon dont les dimensions peuvent varier au cours du cycle montée-descente de la table où se trouvent les anneaux (mouvement indispensable pour créer le ceps de dimensions voulues), d'où la nécessité d'utiliser un dispositif pour casser le ballon et le contrôler. La torsion conférée au fil en tr/m est en moyenne donnée par le rapport $n_B/V_{\text{dél}}$. Il est évident que pour augmenter la productivité de cette machine il faut que les broches tournent plus vite. Or ceci pose deux problèmes majeurs. Premièrement, ce n'est pas que la broche qui tourne mais aussi le ceps. A des vitesses relativement importantes, de l'ordre de 15 000 à 20 000 tr/min, la moindre excentricité de la masse en rotation peut engendrer des vibrations importantes et perturber ainsi le processus. Deuxièmement, le contact anneau-curseur, qui est un contact non lubrifié pour la filature cotonnière, limite aussi la vitesse de la machine. Actuellement, certaines combinaisons de matériaux et des géométries bien étudiées du contact anneau-curseur permettent un échauffement moins important du curseur et un meilleur transfert de chaleur du curseur vers l'anneau, et par conséquent des vitesses relativement importantes, allant jusqu'à 45 m/sec.

Il existe des améliorations "annexes" à ce procédé, notamment au niveau du train d'étirage. Nous pouvons en citer deux. Le procédé Ring Can, grâce à un très bon contrôle des fibres dans la zone d'étirage, permet des affinages allant jusqu'à 200, rendant ainsi possible l'alimentation de la machine en ruban sans d'autres limitations de vitesse que celles citées dans le paragraphe précédent. Le procédé ComfortSpin contrôle le triangle de filage au moyen de cylindres perforés sous dépression, réalisant ainsi un fil de structure très régulière et presque sans pilosité.

Notons que, dans le procédé continu à filer, les deux opérations les plus importantes, la torsion et le bobinage, se réalisent en même temps et grâce au même organe de la machine, la broche en rotation. Les procédés non conventionnels sont en général inspirés par l'idée de pouvoir séparer ces deux opérations. Ils peuvent être classés, pour la filature cotonnière, en deux groupes : procédés open end ou à fibres libérées, et procédés à fausse torsion. Dans le premier groupe, le flux fibreux est interrompu, dans l'espace, et les fibres sont collectées après "une par une" pour être déposées sur l'extrémité du fil en formation. En même temps, une torsion leur est conférée. Ensuite, le fil sorti du dispositif de filage peut être directement bobiné dans un dispositif identique à celui du bobinage classique. Dans le deuxième groupe, il n'y a pas d'interruption du flux fibreux. Après son affinage dans un train d'étirage, un dispositif lui donne une fausse torsion qui disparaît par la suite.

La filature open end est née officiellement en 1900 avec le brevet de Philips au Royaume Uni. Selon certaines sources, l'idée serait même antérieure à 1829, date de l'apparition du continu à filer. Néanmoins, il a fallu attendre 1965 et la première machine industrielle open end à rotor BRNO de production tchécoslovaque. La version finale de cette machine, BD200, est apparue en 1967 à l'ITMA de Bâle. Le principe est le suivant (figure 3.a). Le ruban 1 de fibres (entre 0,5 et 30 ktex) est pincé par le cylindre de pression 2. Les fibres sont prises une par une par

les dents du briseur 3 qui, en même temps, réalise aussi une dernière opération de nettoyage. Ensuite, les fibres sont transportées pneumatiquement dans le canal 5 et entrent dans le rotor qui tourne à des vitesses qui peuvent dépasser les 120 000 tr/min. Les forces d'inertie plaquent ces fibres dans la gorge du rotor. L'extrémité ouverte du fil en formation les prend (figure 3.b) au fur et à mesure et sort par le canal 7. La torsion est donnée au fil par la rotation du rotor. Soulignons le fait que toutes les fibres doivent être prises par l'extrémité du fil avant le point C, celles qui dépassent ce point peuvent s'enrouler autour du fil dans le sens inverse (figure 3.c) créant ainsi le "fagotage", phénomène très perturbateur de la structure qui étrangle par endroit le fil et l'empêche de prendre de la voluminosité lors d'une détorsion éventuelle. Ce phénomène est plus fréquent dans le cas des fibres longues et s'accroît avec l'accumulation d'impuretés dans la gorge du rotor. Ces impuretés peuvent aussi faire apparaître dans le produit final (tissu ou tricot) des "moirés", des irrégularités plus ou moins périodiques de l'aspect du fil.

Dans ce procédé, la limite de productivité est la vitesse de rotation du rotor. Pour aller plus vite, actuellement, on produit des rotors de faible diamètre (inférieur à 30 mm).

Il existe des systèmes qui surpassent cette difficulté de masse en rotation. Ce sont les procédés open end sans rotor dont les plus intéressants sont le système Vortex (figure 3.d), open end à friction ou DREF (figure 3.e) et le système de filage électrostatique (figure 3.f). Dans le premier cas, dont le plus connu est le système polonais PF1, le rotor est remplacé par un courant d'air en spirale donnant ainsi progressivement de la torsion au flux fibreux. Les fibres travaillées sont essentiellement celles synthétiques et artificielles car la longueur minimale est de l'ordre de 50 mm. Le deuxième système de ce groupe, open end à friction (figure 3.e), après avoir individualisé les fibres par un briseur, les dépose entre deux cylindres perforés sous dépression qui tournent dans le même sens obligeant ainsi les fibres de se rouler les unes autour des autres. Le fil en formation se déplace axialement. Le troisième système, le filage électrostatique, se fonde sur le fait que, dans un champ électrostatique fortement non uniforme, les fibres longues se déplacent plus vite vers la zone où le champ est plus dense, tandis que les fibres les plus courtes se déplacent plus lentement vers l'autre électrode. Sous des conditions données et bien contrôlées d'humidité, de température et de courant d'air, il est possible de filer du fil directement de la cardé en éliminant les fibres courtes et les impuretés. Ces trois systèmes sont très intéressants de point de vue productivité, allant jusqu'à 200 m/min, mais leurs fils sont de résistance mécanique très médiocre par rapport aux fils du continu à filer ou de l'open end à rotor.

Parallèlement au développement de la filature open end à rotor, un autre procédé a vu le jour en 1981 au Japon, celui de la filature à jet d'air (figure 4). Le ruban est affiné par un train d'étirage à cylindres, comme dans le continu à filer, ensuite une ou deux buses d'air donnent au fil une fausse torsion qui est effective en amont du point de l'application, et qui disparaît en aval. Or, les fibres qui formaient la pilosité du fil dans la première zone (figure 5.1), s'enroulent autour du fil dans la deuxième zone en le "guipant" (figure 5.2). Ce phénomène est accentué davantage si avant la buse de la fausse torsion, on met une autre buse dont la fonction est de "coiffer" ces fibres dans le sens inverse de la fausse torsion (figure 5.B). Par conséquent, le fil est constitué d'un ensemble de fibres parallèles et d'une minorité de fibres qui fagotent autour en lui donnant la cohésion et la résistance nécessaire.

Structure et propriétés des filés de fibres

Comme nous l'avons dit auparavant, la structure du fil et ces propriétés sont fortement liées au processus de transformation du flux fibreux en fil. La figure 6 nous montre schématiquement comment les fibres sont assemblées en fil pour le procédé classique, open end à rotor et à jet d'air. Comme nous pouvons le constater les structures de ces trois types de fil diffèrent essentiellement. Dans le premier cas, le flux fibreux subit la torsion en sortie du train d'étirage et ce sont donc toutes les fibres qui participent à la torsion et à la cohésion de l'ensemble en s'évoluant en spirales plus ou moins régulières. Le fil produit par le procédé open end à rotor présente aussi cette caractéristique mais de façon beaucoup plus irrégulière puisque les fibres sont attachées individuellement à l'extrémité du fil en formation. En plus, on peut constater presque toujours la présence des fagotages, fibres qui s'enroulent autour du fil dans le sens inverse de celui de la torsion réelle. Le fil produit par la filature à jet d'eau est constitué d'un flux de fibres parallèles assemblées par des fibres guipantes qui s'évaluent en spirales relativement régulières. Notons ici, que la filature open end, par rapport aux autres procédés de flux continu, exerce une action très importante de mélange, comme nous pouvons le constater à partir de la figure 7. qui montre les coupes transversales de deux fils, le premier produit par un procédé continu à filer, le deuxième par un procédé open end. Dans les deux cas, les machines ont été alimentées en deux rubans juxtaposés de fibres de couleurs différentes.

Donc, la torsion du fil est un paramètre très important qui confère au fil les caractéristiques mécaniques nécessaires pour les opérations futures. Les premiers pas dans l'étude de la torsion ont été effectués par Koechlin (1828) et Ashenhurst (1984). Plus tard, en 1907, Charles Gegauff, professeur à l'Ecole Supérieure de Filature et de Tissage de Mulhouse, formula une théorie de "l'architecture" des filés, fondée sur une approche géométrique. Cette approche est caractérisée par un enroulement des fibres suivant des hélices à pas constant dans des couches concentriques. Ce modèle, extrêmement simple a permis de définir un premier concept de torsion donnée par l'inclinaison des fibres de la couche externe. Cette définition de la torsion a introduit la notion du coefficient de torsion de la manière suivante : $c = k \cdot \tan \alpha = t / \sqrt{N}$ où c est le coefficient de torsion, α est l'angle de l'inclinaison des fibres de la couche externe, t est la torsion en tr/cm et N est le numéro français pour le coton. Ce paramètre, coefficient de torsion, reste à l'heure actuelle un paramètre fondamental tant de point de vue de la résistance mécanique du filé que du réglage des machines de filature. Ce modèle permit à Gegauff de prévoir théoriquement le comportement dynamométrique du fil en fonction de la torsion (figure 8.a). Les résultats expérimentaux confortaient partiellement son approche (figure 8.b). En effet, dans ce modèle, le problème de la migration n'est pas pris en compte.

La migration se traduit par une évolution d'une même fibre à travers les différentes couches successives avec pour effet de renforcer le lien entre elles et d'empêcher ainsi leur dislocation par libération des fibres sous diverses actions mécaniques ou sollicitations répétées. Morton a été le premier à parler en 1952, de migration et, pour en suivre l'évolution, il inaugura la technique des fibres traceuses (une quantité de 1% des fibres teintées en noire mélangées avec le reste et filées ensemble).

Dans le cas des procédés non conventionnelle, la structure s'éloigne nettement du modèle classique des filés obtenus sur continu à filer. D'après la plupart des auteurs, la structure se compose de trois parties. Un noyau central de fibres, contenant de l'ordre de 80% des fibres, compact et de torsion maximale correspondant au modèle structural du continu à filer, est

entouré par une couche de fibres plus ou moins tordues et avec des angles de torsion variables et parfois élevés. Enfin, la troisième partie est constituée d'un certain nombre de fibres de la couche extérieure qui sont à l'origine de la pilosité et du fagotage avec un enroulement en "ceinture". La distribution de ces fibres à l'extérieur du fil est très désordonnée.

La torsion confère donc à l'assemblage des fibres la cohésion et la résistance mécanique. De ce point de vue, les fils du procédé continu à filer sont les meilleurs (figure 9). Leur structure assure la participation de presque toutes les fibres à la résistance du filé.

Un autre paramètre très important de la structure du fil est sa régularité qui est exprimée par le coefficient de variation CV%. Plus ce coefficient est élevé, plus le fil est irrégulier. L'irrégularité idéale du fil est donnée par la formule de Martindale $CV\% = 100/\sqrt{n}$ où n est le nombre de fibre à la section droite du fil. Pour des fils fins, le nombre de fibres à la section diminue et l'irrégularité augmente. L'utilisation de fibres plus fines, pour le même titre de fils, améliore donc la régularité, ainsi que son toucher et ses propriétés mécaniques par une meilleure cohésion de ces fibres. En général, les procédés open end assurent une meilleure régularité que les procédés à flux continu puisque les fibres sont alimentées une par une par le système d'étirage qui n'apporte que très peu de bruit (de point de vue régularité) au processus de transformation. De l'autre côté, le ruban alimentaire est sensiblement très régulier (dans un ruban de 3 ktex, de fibres de 2 dtex, il y a $T_{\text{ruban}}/T_{\text{fibre}} = 3000/0,2 = 15\,000$ fibres à la section droite). Par contre, dans le train d'étirage des procédés à flux continu (continu à filer ou jet d'air), le contrôle des fibres "flottantes" (qui ne sont pas pincées par aucun des cylindres étireurs) est très difficile, d'autant plus que les fibres sont généralement prises par "paquets" par ces cylindres. Donc, le bruit d'irrégularité apporté dans le fils par ces procédés est plus important. Pour des fibres longues et de CV de longueur très faible, par contre, la régularité du fil de procédés à flux continu peut attraper et même dépasser celle du fil de procédés open end. Une comparaison très générale des caractéristiques des fils continu à filer et open end est donnée dans le tableau 1, tandis la figure 10 nous donne les domaines d'utilisation des différents procédés. Les bornes présentées ne sont pas limitatives mais les caractéristiques du fil, surtout celles dynamométriques, sont sensiblement touchées. Pour conclure, le tableau 2, rassemble, par ordre de priorité, les caractéristiques des fibres qu'exigent les différents procédés.

En général, nous pouvons constater que le procédé anneaux-curseurs est le moins exigeant de point de vue caractéristiques des fibres puisqu'il les exploite très bien. Ses fils sont utilisés dans un spectre très large. Ce procédé est donc le adapté et le plus utilisé actuellement, à moins qu'un autre procédé révolutionnaire vienne perturber l'équilibre entre les procédés existants.

Bibliographie

- BONA M. et al., 1981, *Manuale di tecnologia tessile*, 211-260 et 277-300, Edizioni Scientifici A. Cremonese, Roma, Italie.
- CORBMAN B.P., 1983, *Textiles, fiber to fabric*, 1-67, McGrawHill, Etats Unis.
- DEUSSEN H., 1984, *Einige Gedanken über die Bedeutung der Baumwolle für neue Spinntechnologien*, Schlafhorst-Documentation Nr. 10, Allemagne
- RENNER M. et DREAN J-Y., 1988, *Contribution à l'étude des procédés et des textiles linéaires*, 188-208, Thèse d'Etats, Université de Haute Alsace, France.

STALDER H., 1990, *Spinning in the nineties*, Chemiefasern/Textil-Industrie, Spinning/Twisting/Winding Year Book (CTI), 35-39

Torsion	plus élevée (10-15%)
Résistance à la rupture	plus faible (15-20%)
Coeff. de variation de la résistance à la rupture	inférieur
Allongement à la rupture %	plus élevé (10%)
Coeff. de variation de l'allongement à la rupture	inférieur
Travail de rupture	=
Régularité du titre	meilleure
Neps, Gros, Fins	meilleur
Voluminosité	plus élevée (10%)
Pilosité	plus faible (10-20%)
Stabilité	inférieure
Résistance à l'abrasion	plus élevée (20-30%)
Mélange de fibres	meilleur
Rigidité	plus élevée
Main	plus rêche
Nombre de cases en filature	inférieur

Tableau 1. Caractéristiques principales du fil open end à rotor par rapport au fil classique sur continu à filer.

Propriétés des fibres			
Continu à filer	Open end à rotor	Jet d'air	Open end à friction
1. longueur/CV long.	1. ténacité	1. finesse	1. frottement
2. ténacité	2. finesse	2. propreté	2. ténacité
3. finesse	3. longueur/CV long.	3. ténacité	3. finesse
	4. propreté	4. longueur/CV long.	4. longueur/CV long.
		5. frottement	5. propreté

Tableau 2. L'importance des caractéristiques des fibres en fonction du procédé de filature utilisé.

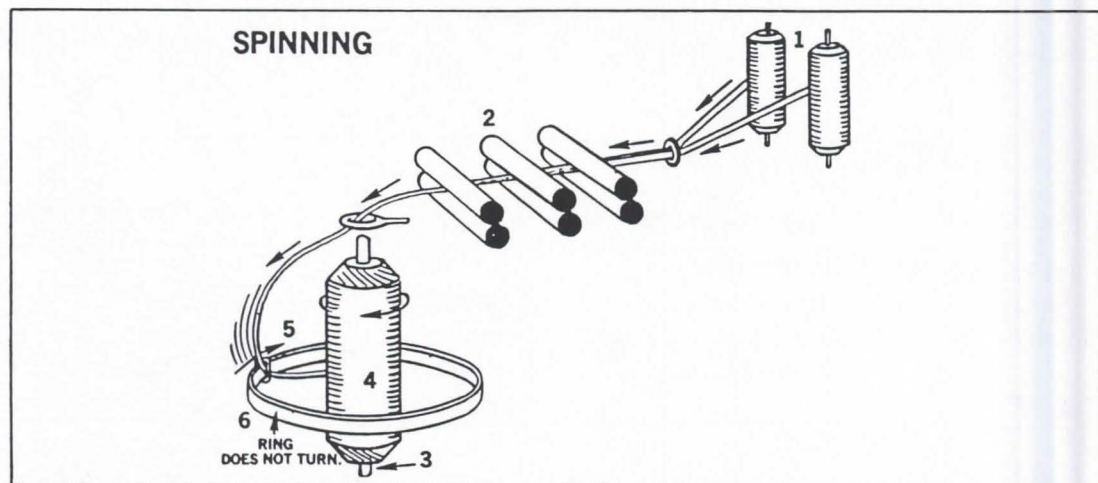
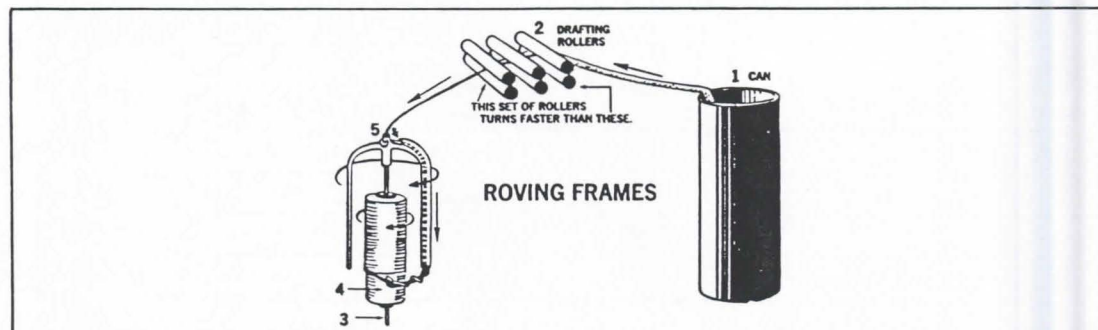
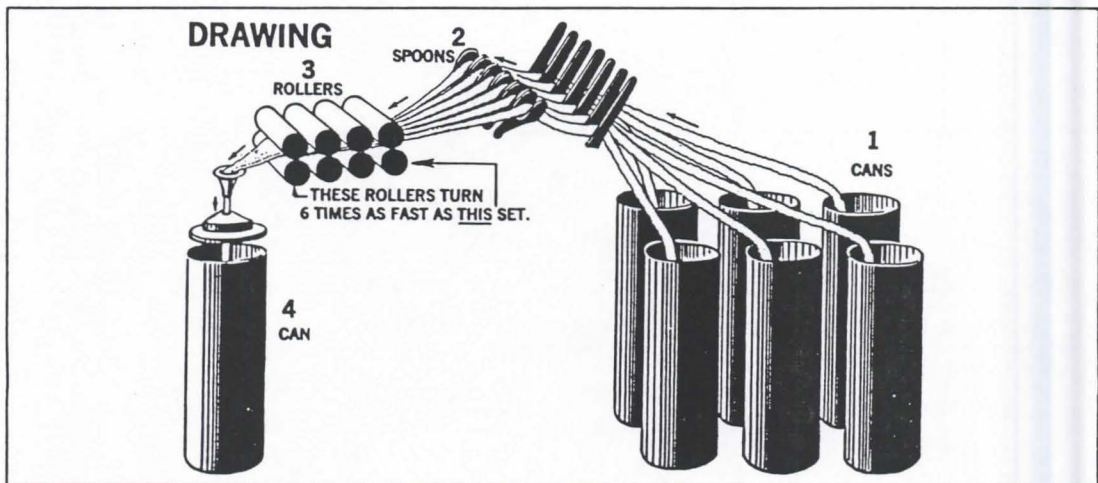
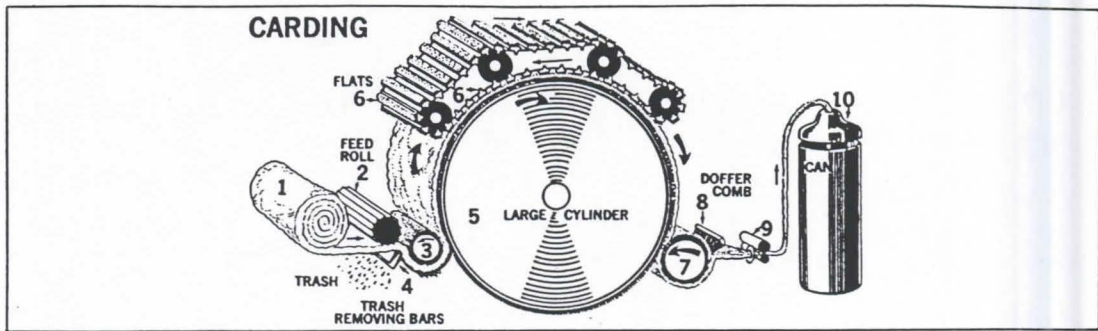


Figure 1

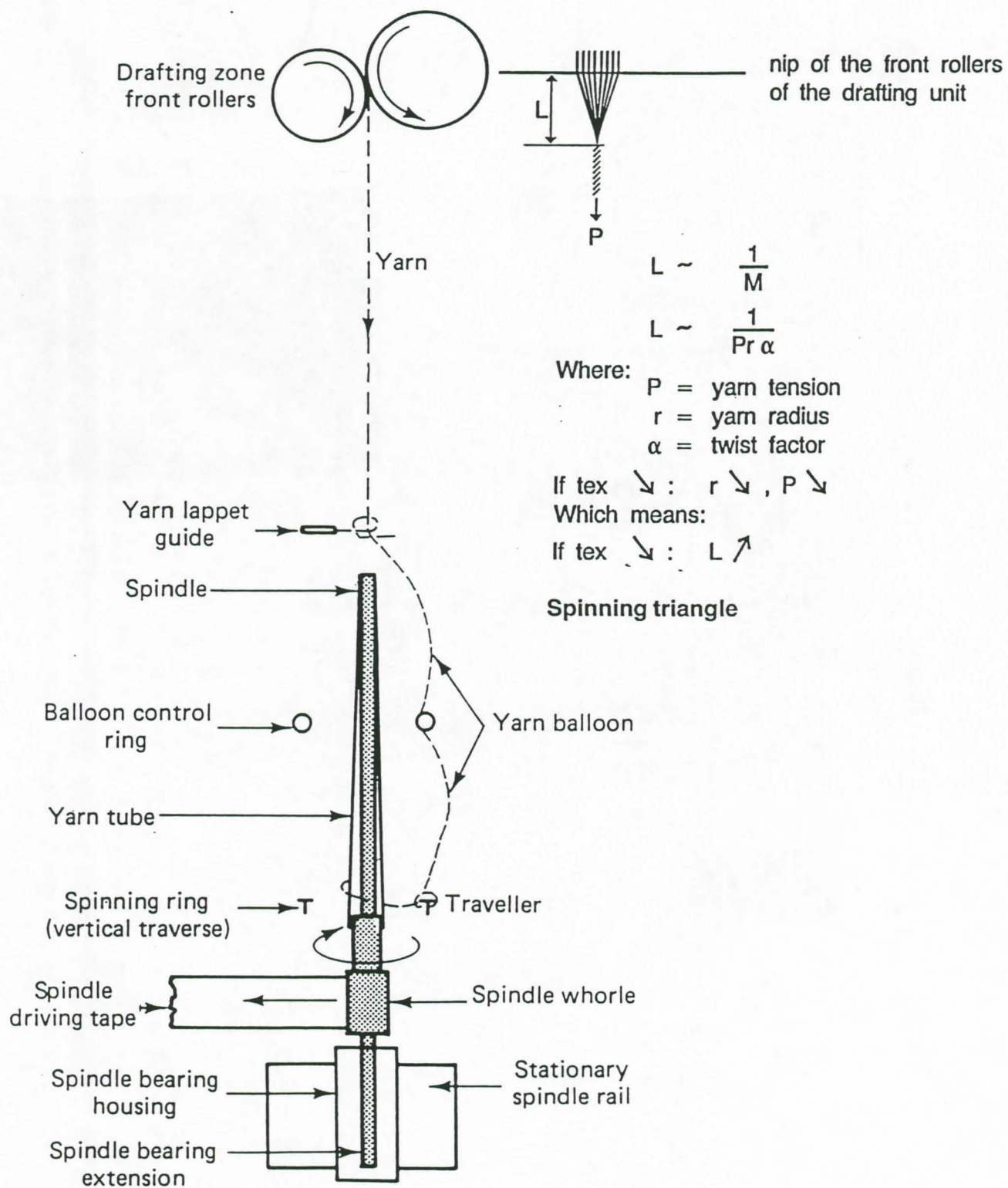


Figure 2

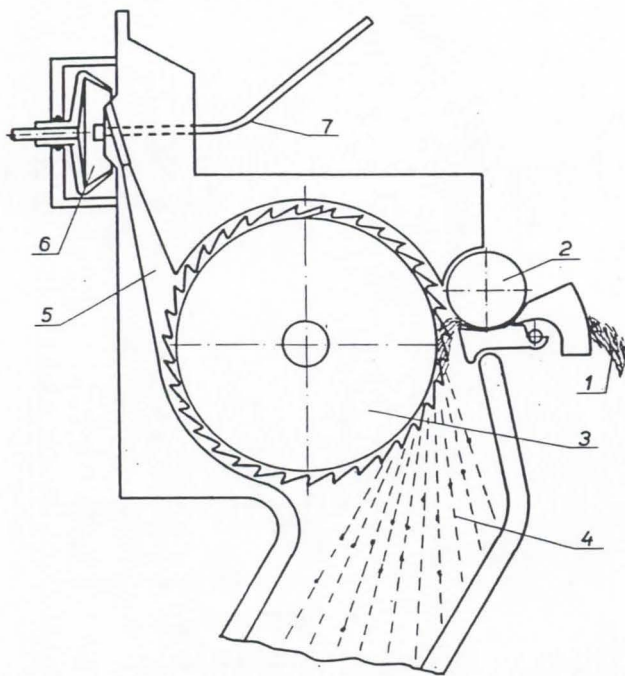


Figure 3.a

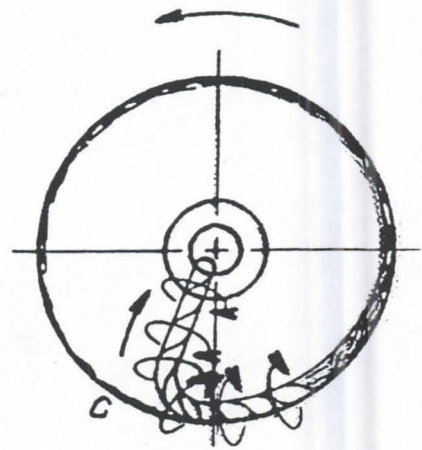


Figure 3.b

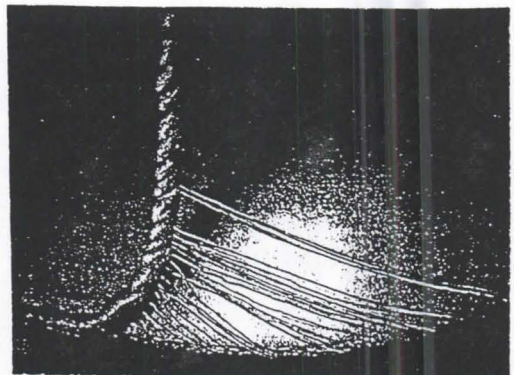


Figure 3.c

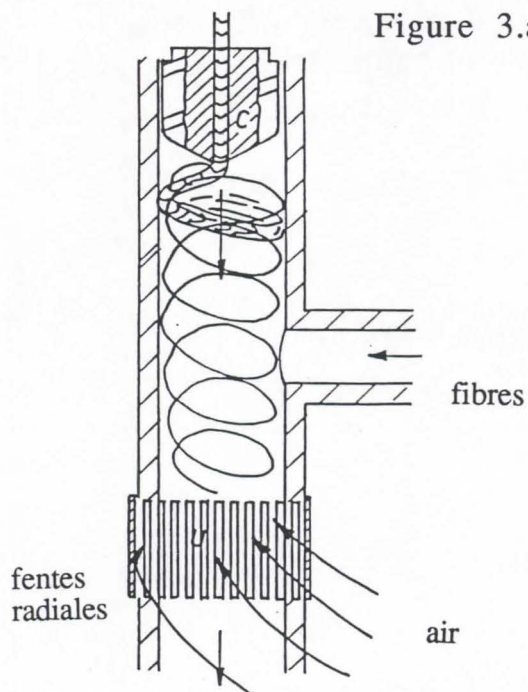


Figure 3.d

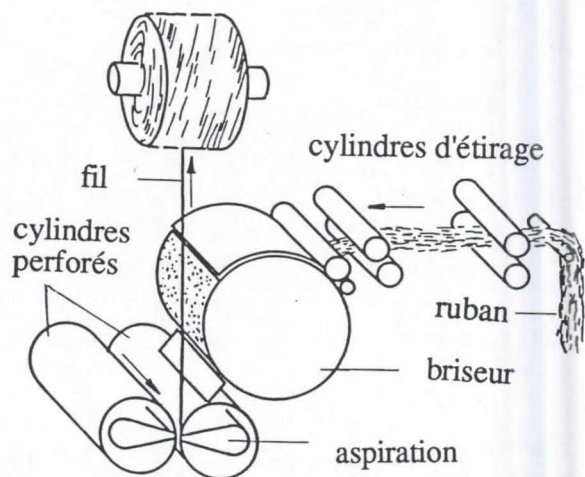


Figure 3.e

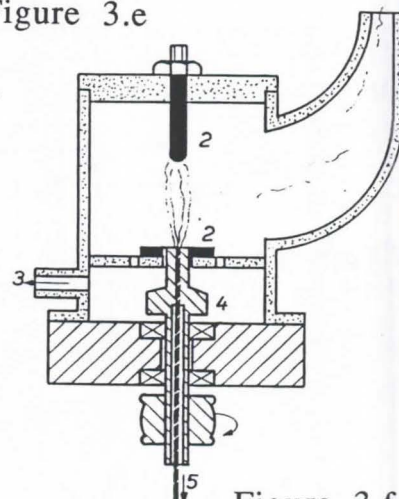


Figure 3.f

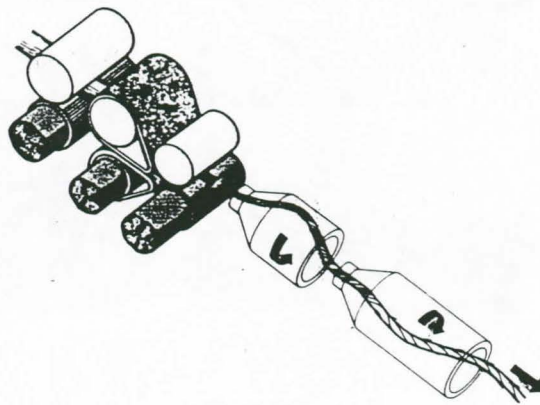
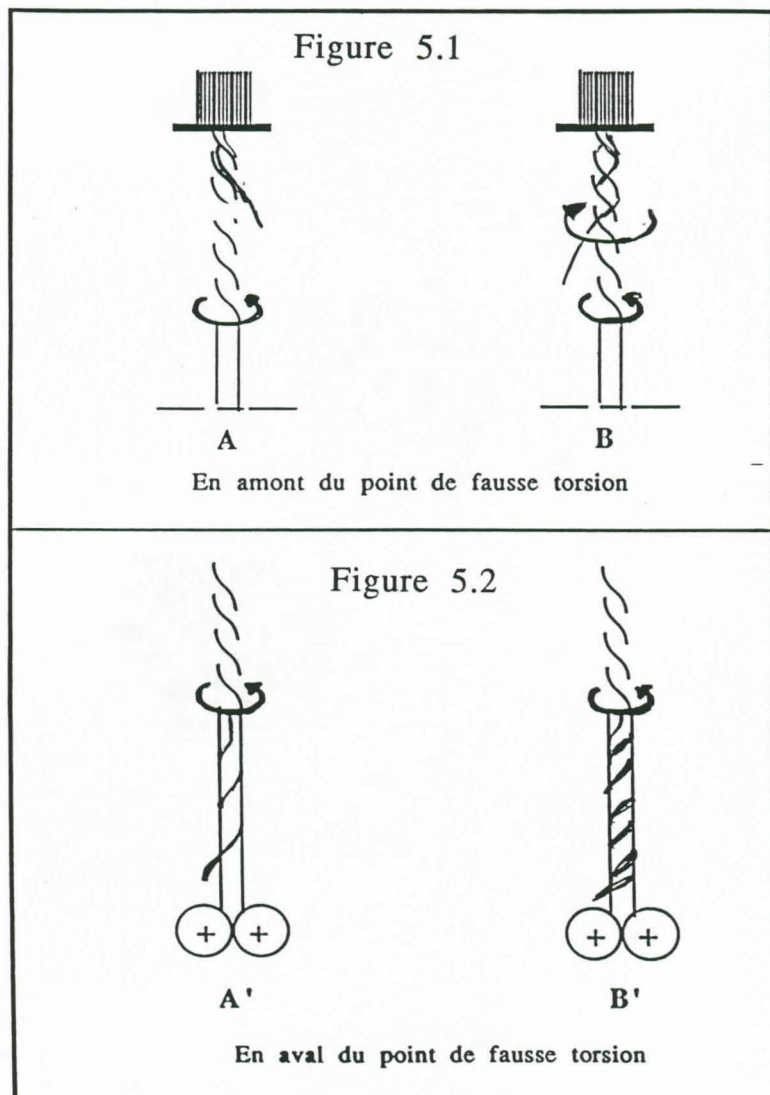
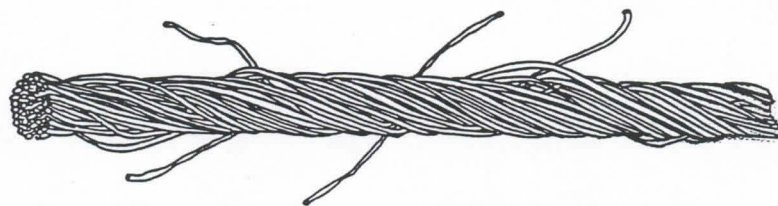
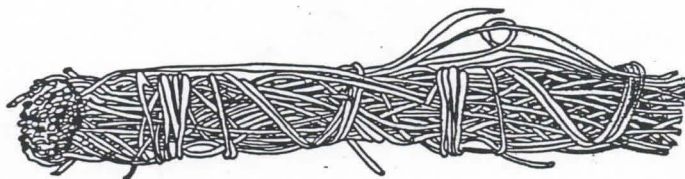


Figure 4

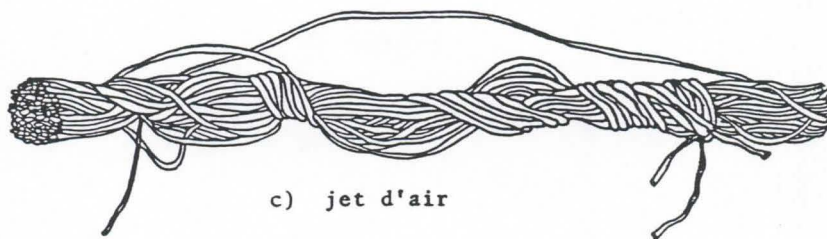




a) classique (anneau/curseur)



b) rotor



c) jet d'air

Figure 6

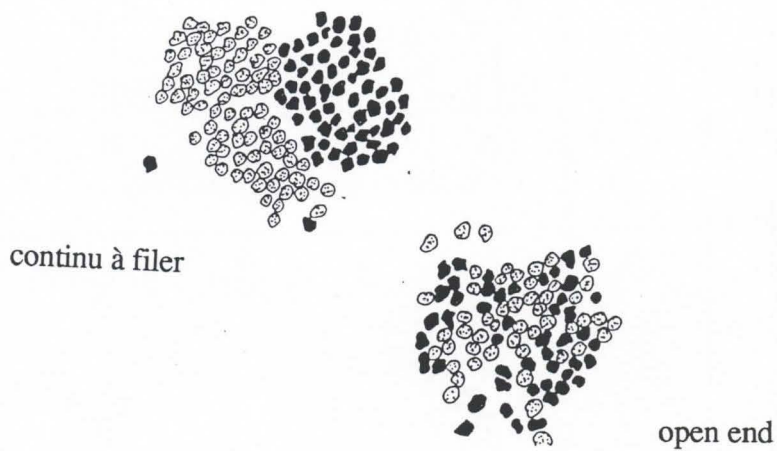


Figure 7

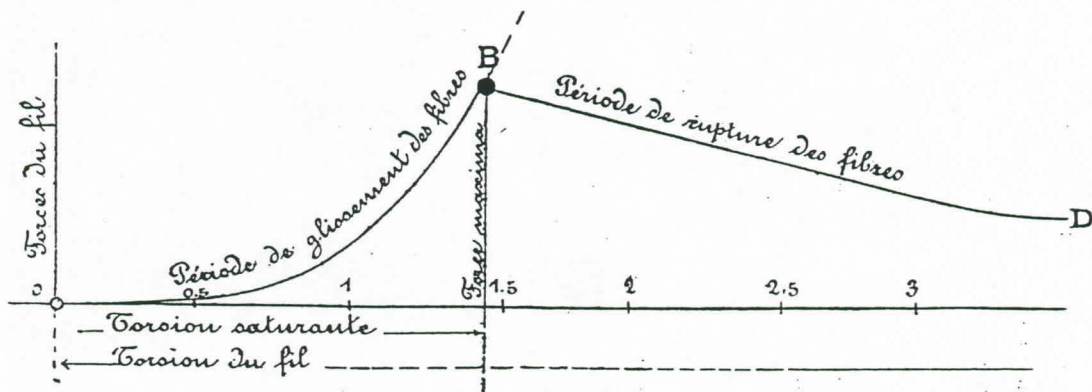


Figure 8.a

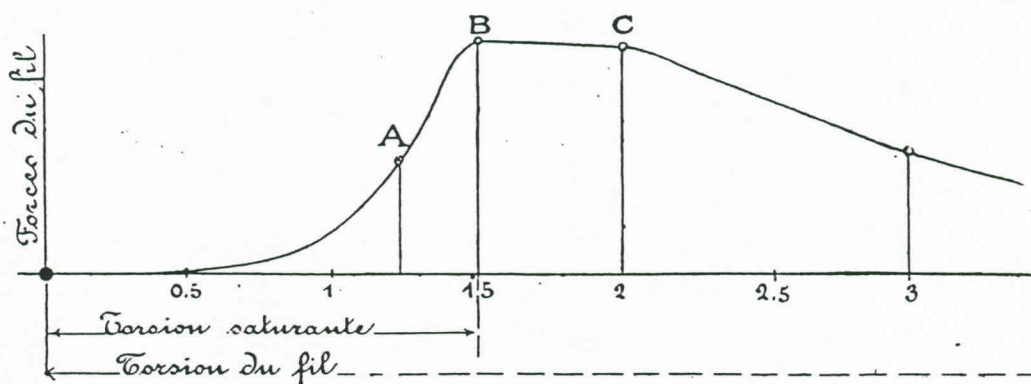


Figure 8.b

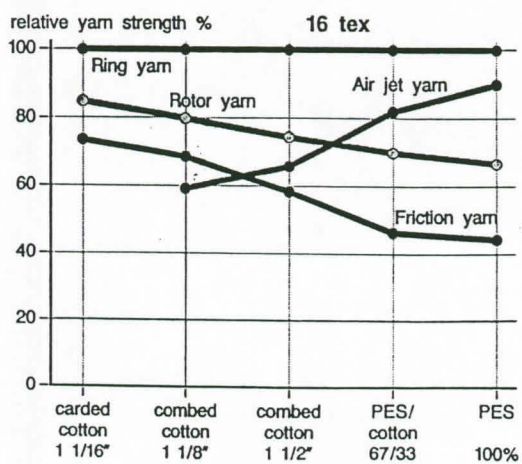


Figure 9

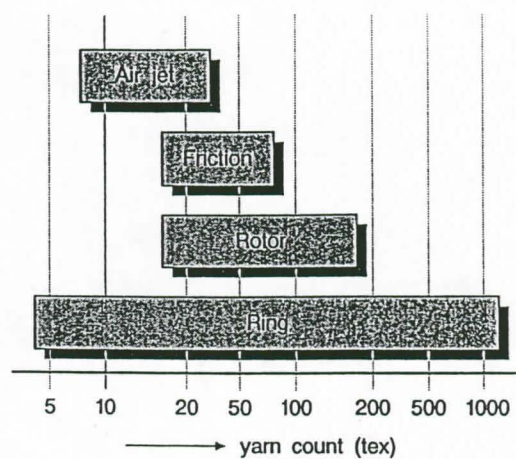


Figure 10